TEMA 1:

"SEÑALES Y SISTEMAS ACÚSTICOS"

Universidad Rey Juan Carlos

Roberto San Millán Castillo

señales y sistemas acústicos

Objetivos:

- Comprensión del fenómeno de la onda sonora.
- Conocimiento de los parámetros básicos de las ondas sonoras.
- Análisis en frecuencia de señales acústicas.
- Aprender a operar con ondas sonoras y sus parámetros de caracterización.

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos

Contenido:

1. Generación del sonido.
2. Parámetros básicos caracterizadores del sonido.
3. Análisis en frecuencia de señales acústicas.
4. Niveles Acústicos
5. Filtros.
6. Señales acústicas básicas.
7. Sistemas lineales en Acústica.

Universidad Rey Juan Carlos

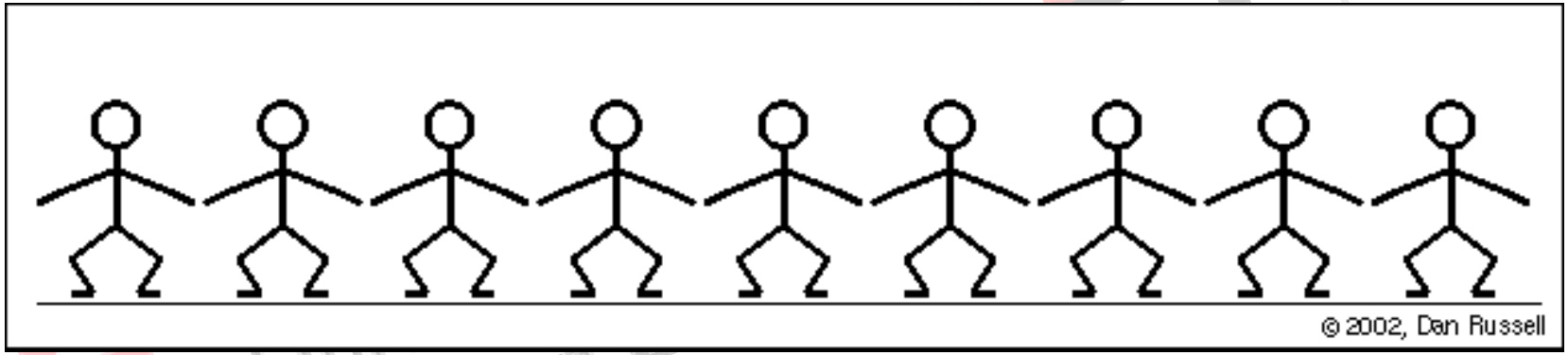
señales y sistemas acústicos

Generación del sonido

- **¿Qué es el sonido?:**
- Onda mecánica…
- Perturbación de presión…

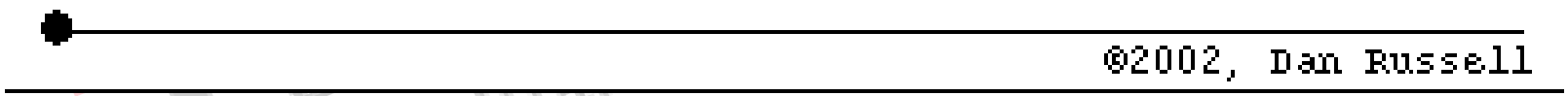
TSC
Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos



Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos



Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos

¿Qué es el sonido?:

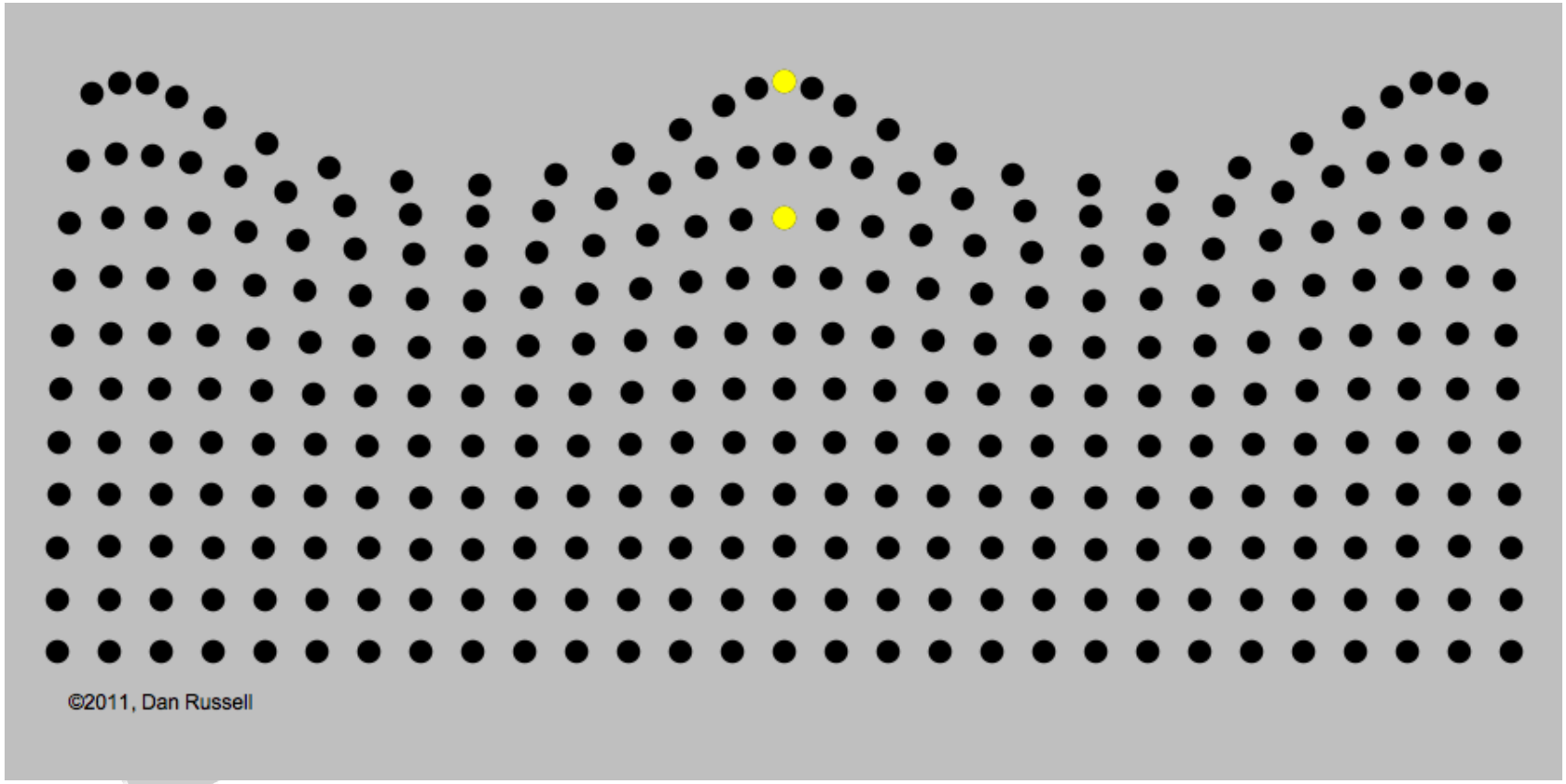
- Onda **mecánica**…
- **Perturbación de presión**…
- …que se propaga en un **medio** elástico…
  - "Una odisea en el espacio"…¿Qué ocurre con las explosiones?
  - Inercia, transferencia de perturbación. Masa.
  - Elasticidad, tendencia al regreso a posición inicial.
- **Progresiva**…
- **Longitudinal**…

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos

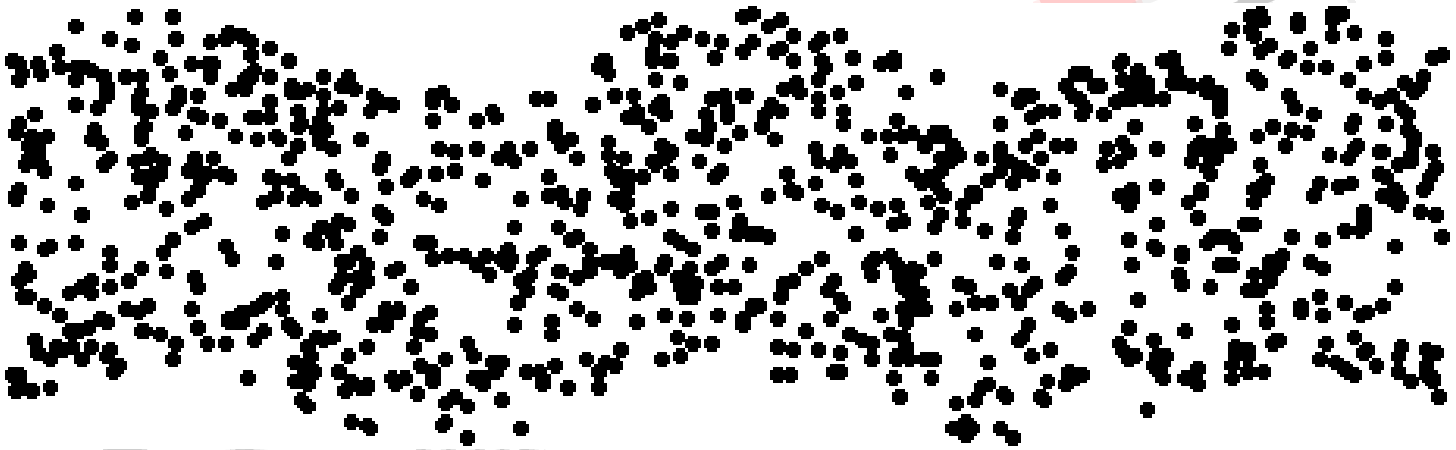
Fuente: Dª Teresa Bravo, CAEND-CSIC-UPM

señales y sistemas acústicos



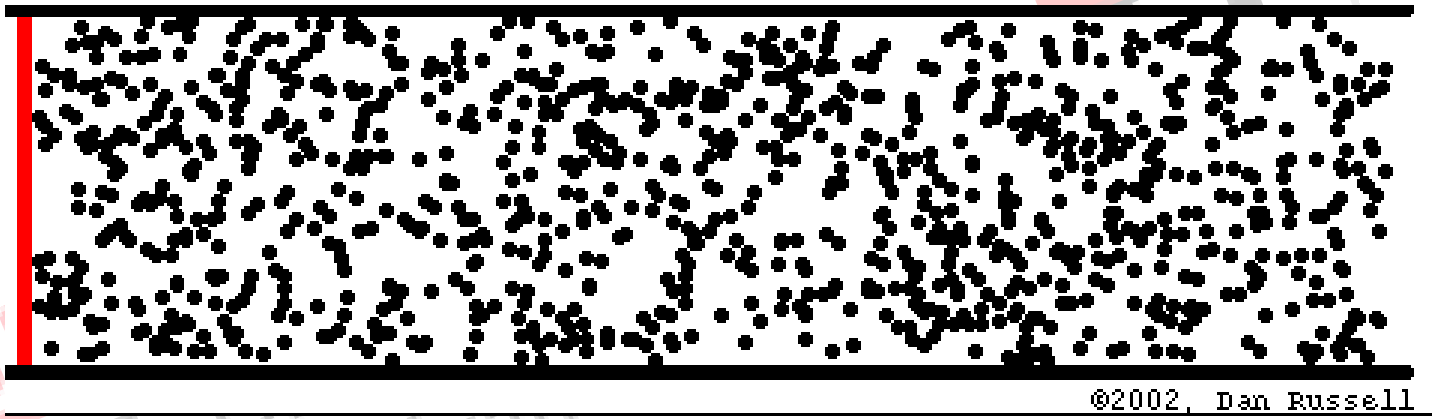
Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos



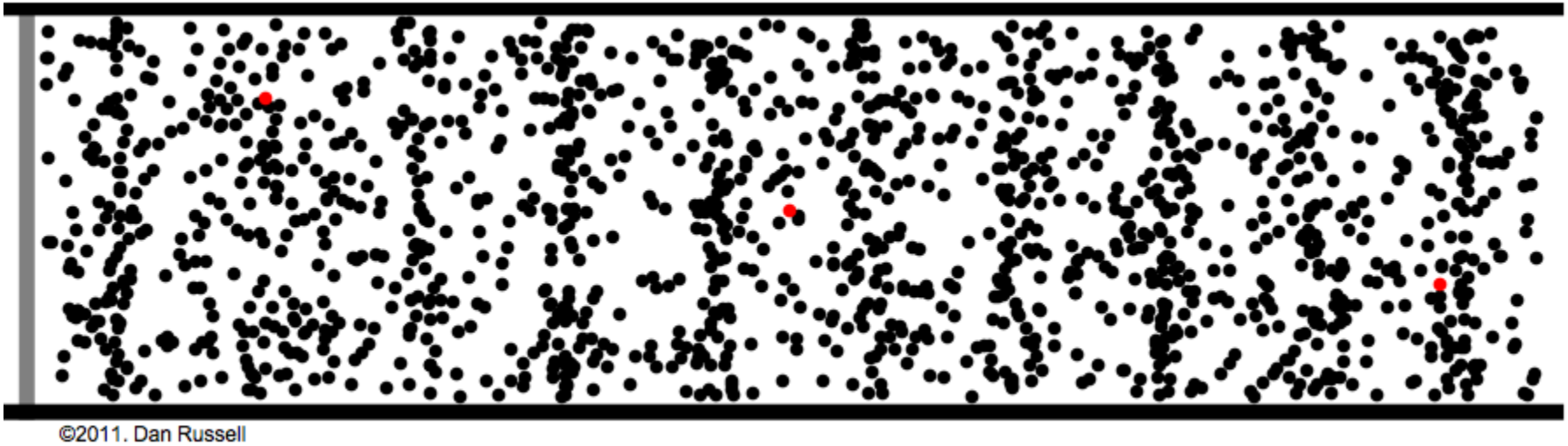
Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos



Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos



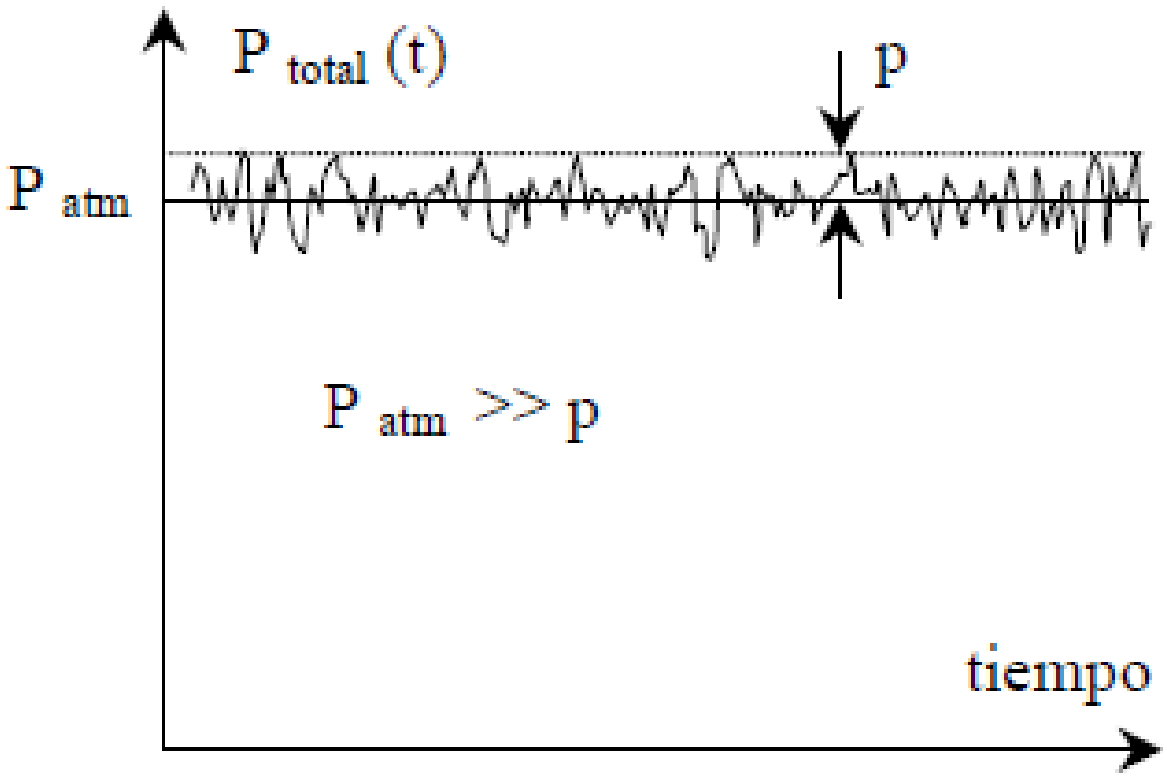
Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos

¿Qué es el sonido?:

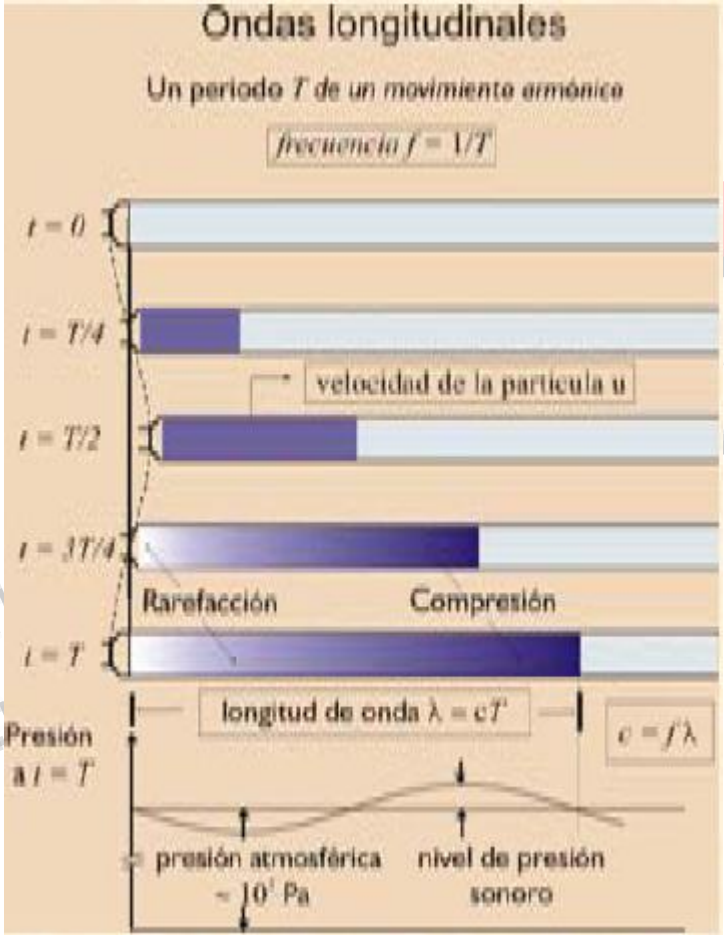
- **¡¡¡2 velocidades!!!**
  - Velocidad de propagación
  - Velocidad de partículas
- **Aire** y agua son medios elásticos…
  - ¿Tiene masa el aire?
  - ¿Tiene elasticidad el aire?
- Hay que escucharlo
  - Margen de frecuencia: **20Hz – 20kHz**
  - Margen dinámico: **$20*10^{-6}$Pa – 200Pa**

señales y sistemas acústicos



o = 10^5 Pa

señales y sistemas acústicos



Fuente: Dª Teresa Bravo, CAEND-CSIC-UPM

señales y sistemas acústicos

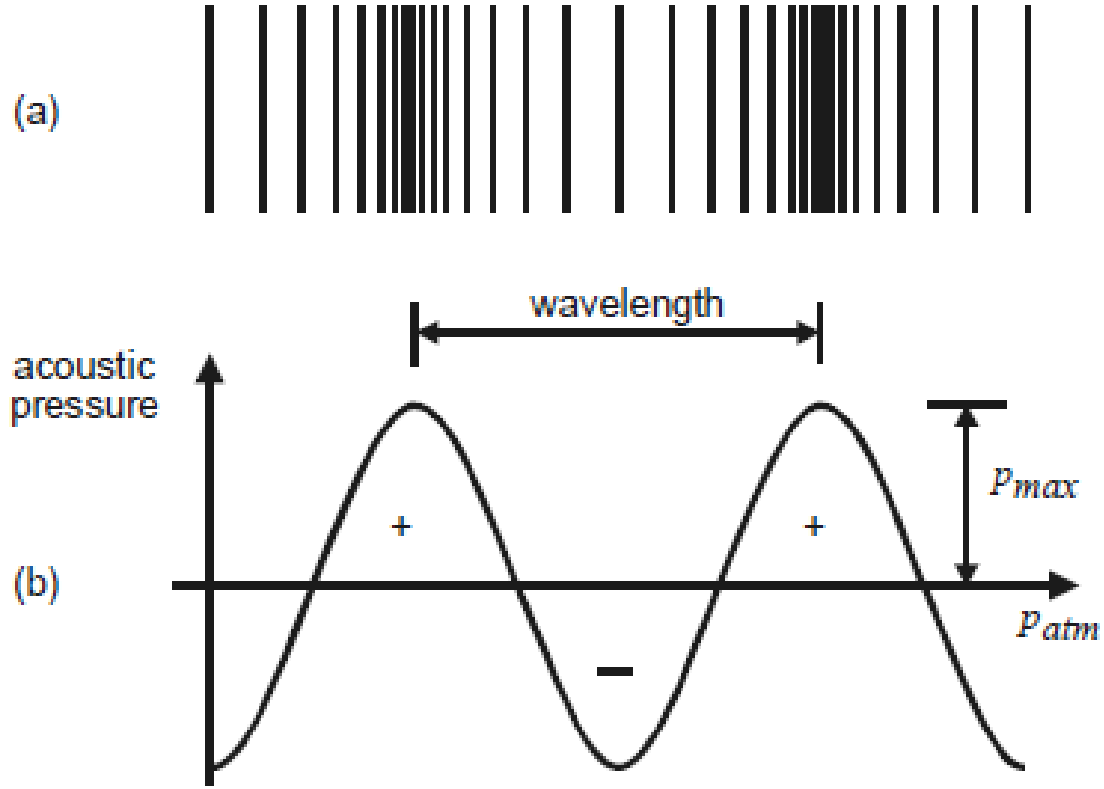
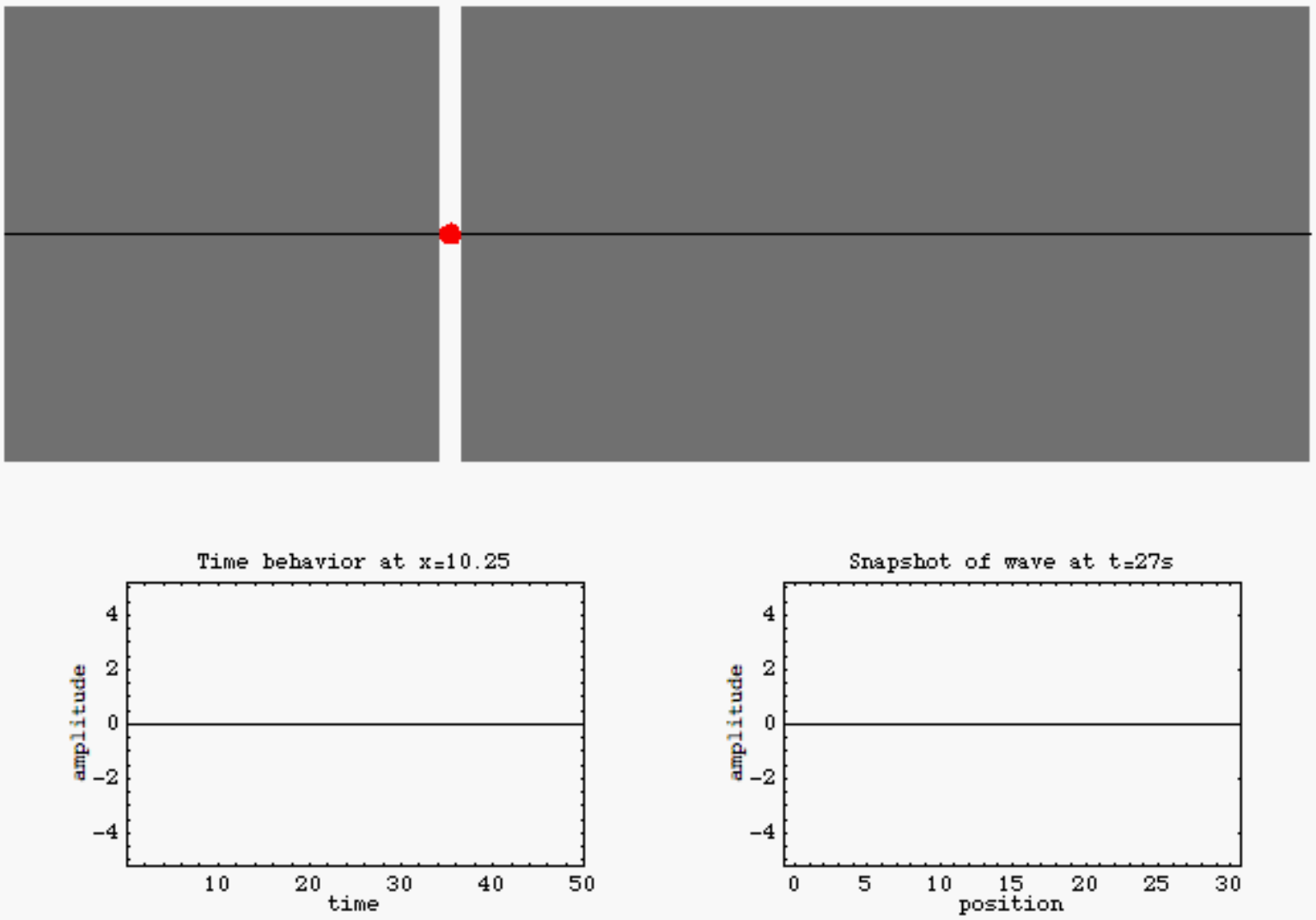


Figure 1.2 Representation of a sound wave: (a) compressions and rarefactions of a sound wave in space at a fixed instance in time; (b) graphical representation of sound pressure variation.

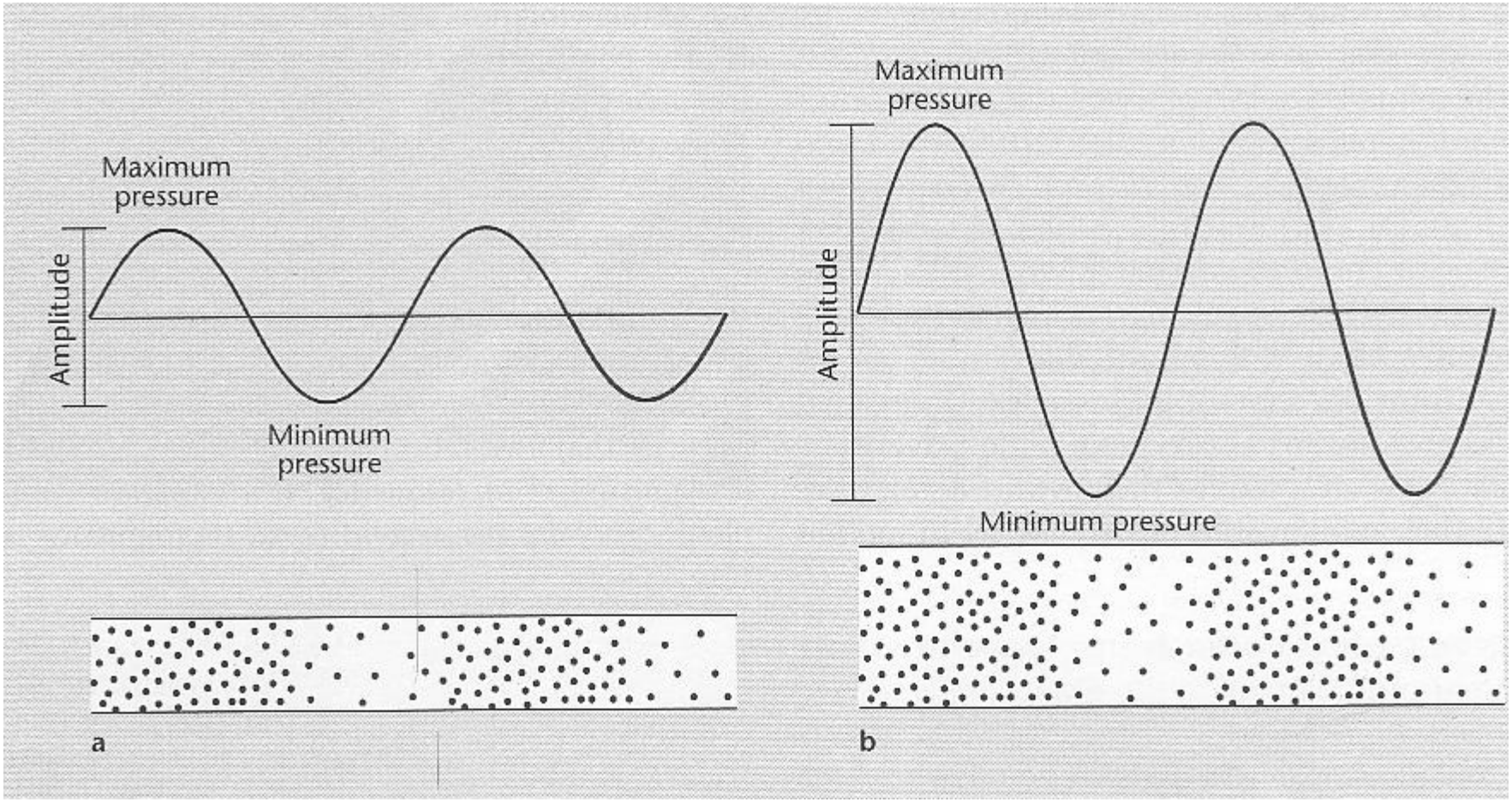
Fuente: "Engineering Noise Control", Bies&Hansen

señales y sistemas acústicos



Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State

señales y sistemas acústicos



señales y sistemas acústicos

❑Velocidad de propagación del sonido

$$c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$$

donde $\gamma = C_p/C_v = 1{,}4$ para gases *diatómicos* (como el aire),
$R = 8{,}31$ J/mol·°K,
M = masa de 1 mol en kg/mol = 0,0288 kg/mol para el aire,
T = temperatura absoluta en °K.

Fuente: Federico Miyara

señales y sistemas acústicos

Parámetros básicos caracterizadores de sonido.

- **Velocidad de propagación del sonido**
  - Aproximación en el aire, para temperaturas de referencia:

$$c = 332 + 0{,}608 \cdot t$$

donde **t** es la temperatura en °C y **c** está en **m/s**. En particular, para **t = 20 °**
c = 344 m/seg.

Fuente: Federico Miyara

señales y sistemas acústicos

❑Velocidad de propagación del sonido

- El sonido se propaga también sólidos, NO sólo en fluidos:

Medio	Velocidad [m/s]
Aire a 0 ºC	332
Aire a 20 ºC	344
Anhídrido carbónico	260
Hidrógeno	1294
Agua a 20 ºC	1482
Alcohol etílico a 20º	1170
Vapor a 100 ºC	405
Acero	5200
Aluminio	5000
Bronce	3480
Corcho	500
Hormigón	3500
Granito	3950
Madera	4000
Mármol	3810
Plomo	1190
Vidrio	5000

Fuente: Federico Miyara

señales y sistemas acústicos

Velocidad de propagación vs. Velocidad de partículas

- **Propagación ≠ desplazamiento**

$$\frac{p}{u} = \rho_0 c \qquad Z_a = \frac{p}{u}.$$

donde ρ_0 = densidad del aire en kg/m^3 = $1{,}2\ kg/m^3$ (a 20 °C)

c = velocidad de propagación del sonido en m/s = 344 m/s

El cociente **p/u** se denomina **impedancia acústica**, Z_a :

Fuente: Federico Miyara

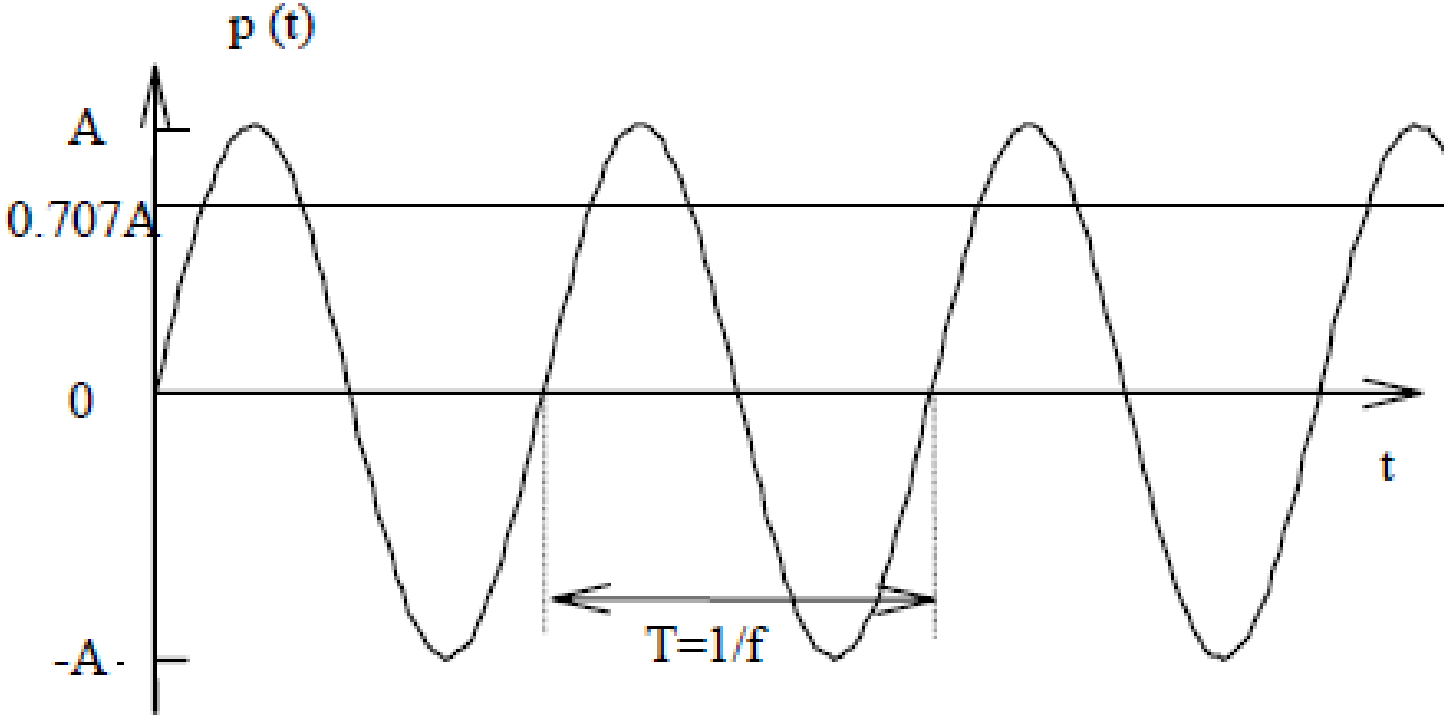
señales y sistemas acústicos

❑Frecuencia, periodo y longitud de onda:

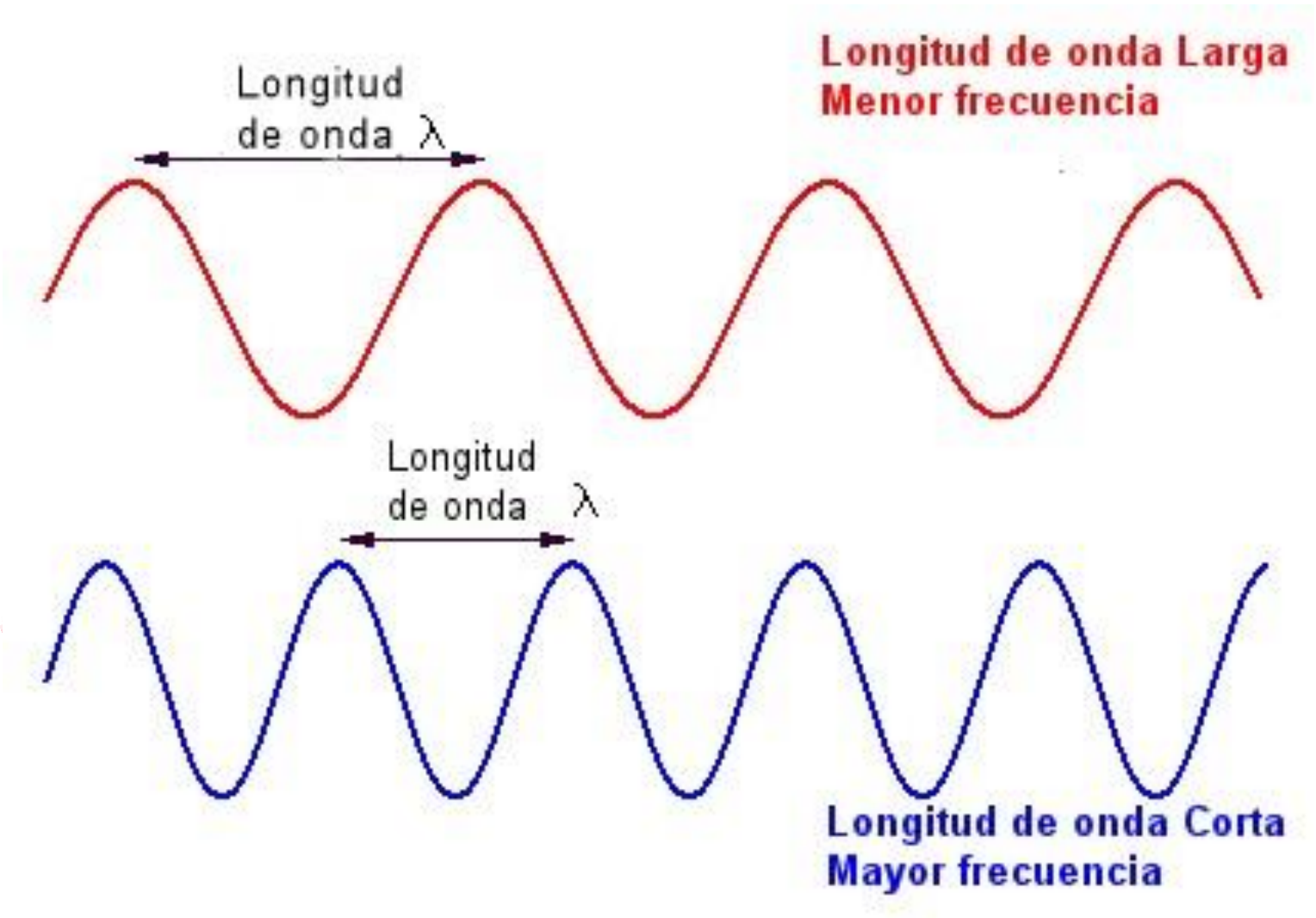
- En un tono puro, la perturbación se repite constantemente en un **periodo" T"**
- La inversa del periodo es la **frecuencia**…**"f"**
- Aunque también existe la **frecuencia angular**…**"ω"**
- La **longitud de onda, "λ",** señala el camino recorrido por la onda en un tiempo igual a **"T"…**
- Existe un **número de onda, "k",** que nos señala las longitudes de onda contenidas en 2π…
- Todo ello, relacionado con la **velocidad de propagación "c"**..

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos



señales y sistemas acústicos



señales y sistemas acústicos

¿Cómo concretamos todo esto…?

- **Frecuencia**
  - 20Hz – 20kHz
- Longitud de onda
  - 17m – 0,017m
- **Presión sonora**
  - $20 * 10^{-6}$ Pa (0dB) – 200Pa (140dB)
- Velocidad de partículas
  - $5*10^{-8}$ m/s – 0.25m/s
- Desplazamiento de partículas @1kHz
  - $8*10^{-12}$m – $4 *10^{-5}$m

señales y sistemas acústicos

¿Practicamos …?

1. ¿Cuál es la longitud de onda de una señal cuya frecuencia es 1kHz?, ¿Cuál es su periodo?, ¿Y su número de onda? c=343m/s
2. ¿Cuál es la longitud de onda de una señal cuya frecuencia es 100Hz?, ¿Cuál es su periodo?, ¿Y su número de onda? c=343m/s
3. ¿Cuál es la longitud de onda de una señal cuya frecuencia es 10kHz?, ¿Cuál es su periodo?, ¿Y su número de onda? c=343m/s

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos

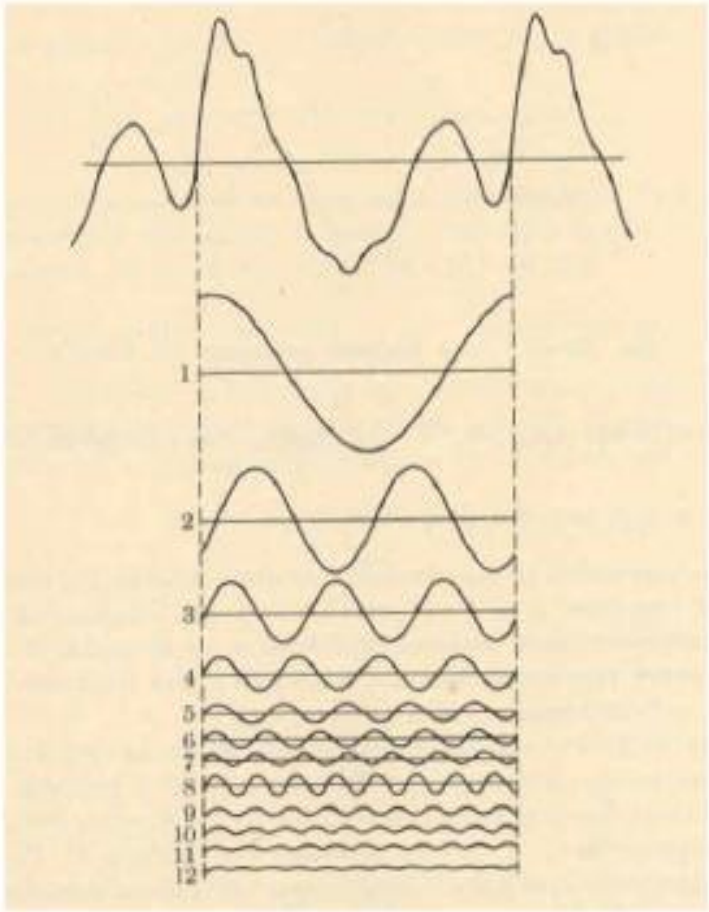
¿Practicamos …?

4. Calcule la velocidad de propagación del sonido cuando la temperatura ambiente es de 18ºC para 100Hz y 10kHz.¿Cuál es la longitud de onda de 100Hz y 10kHz?
5. Calcule la velocidad de propagación del sonido cuando la temperatura ambiente es de 0ºC para 100Hz y 10kHz. .¿Cuál es la longitud de onda de 100Hz y 10kHz?
6. Calcule la velocidad de propagación del sonido cuando la temperatura ambiente es de 40ºC para 100Hz y 10kHz. .¿Cuál es la longitud de onda de 100Hz y 10kHz?

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos

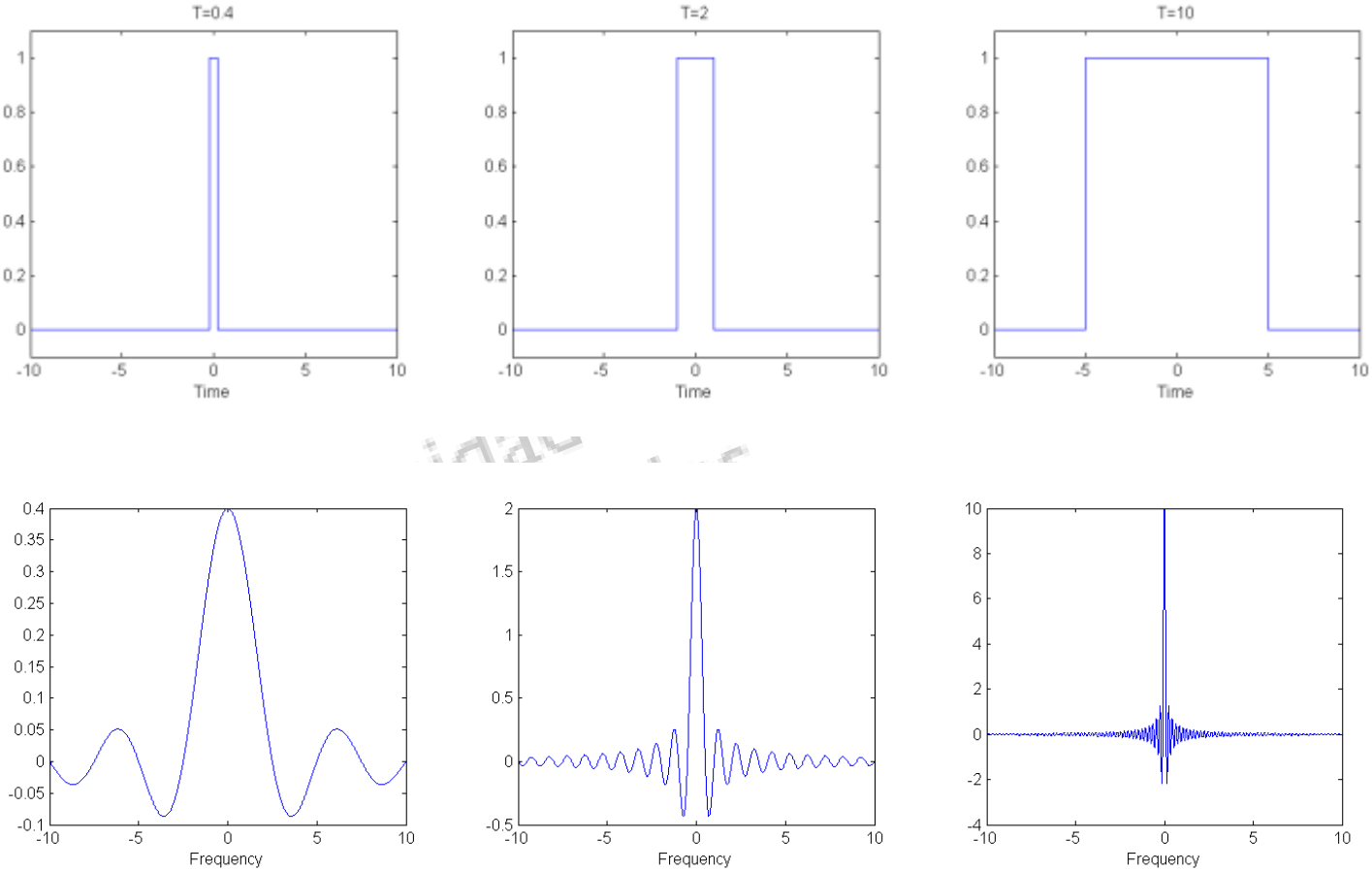
❑ Análisis en frecuencia de señales acústicas



Fuente: "Movimiento oscilatorio", Tecnun

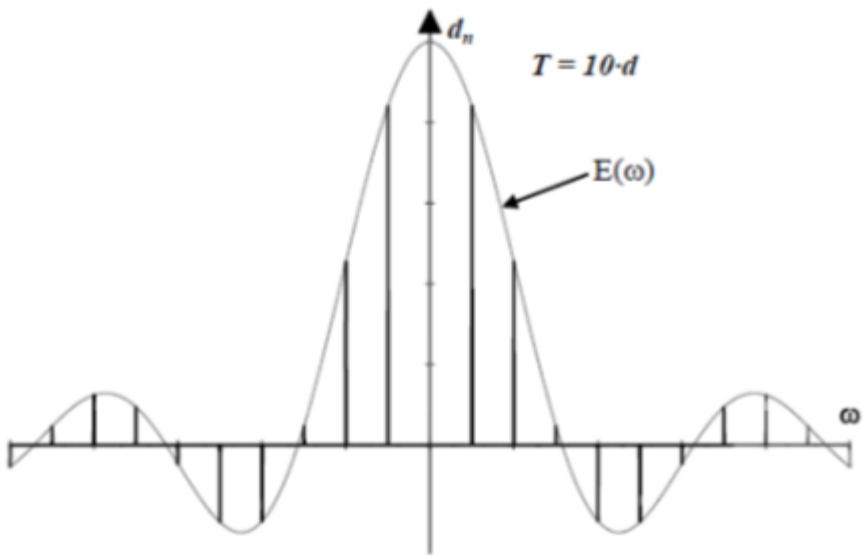
señales y sistemas acústicos

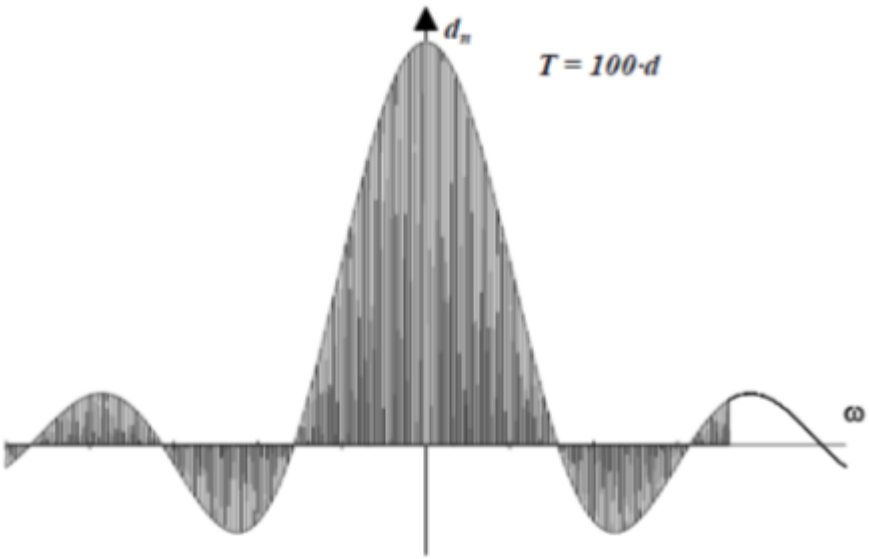
❑ Análisis en frecuencia de señales acústicas



señales y sistemas acústicos

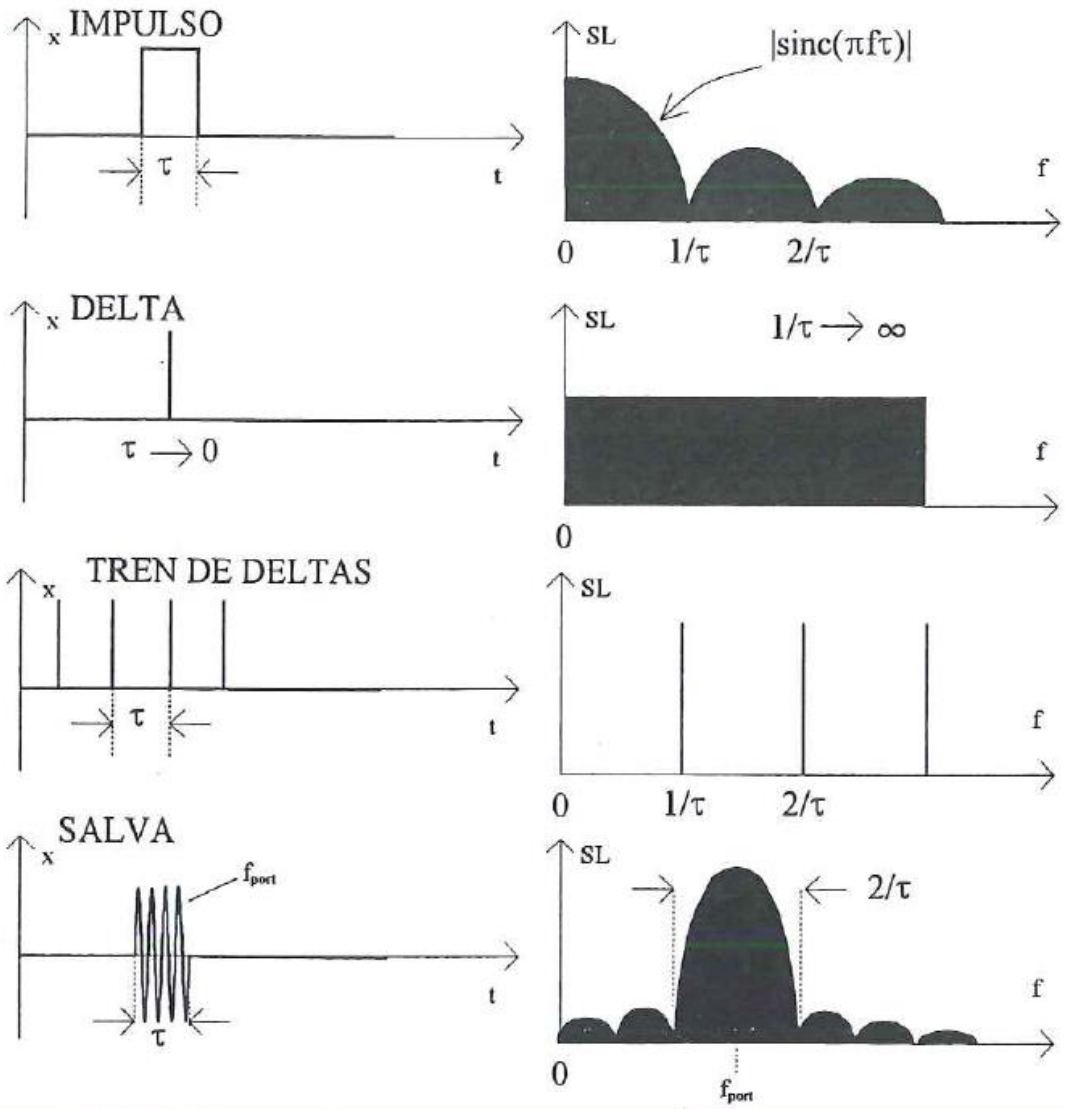
❑ Análisis en frecuencia de señales acústicas



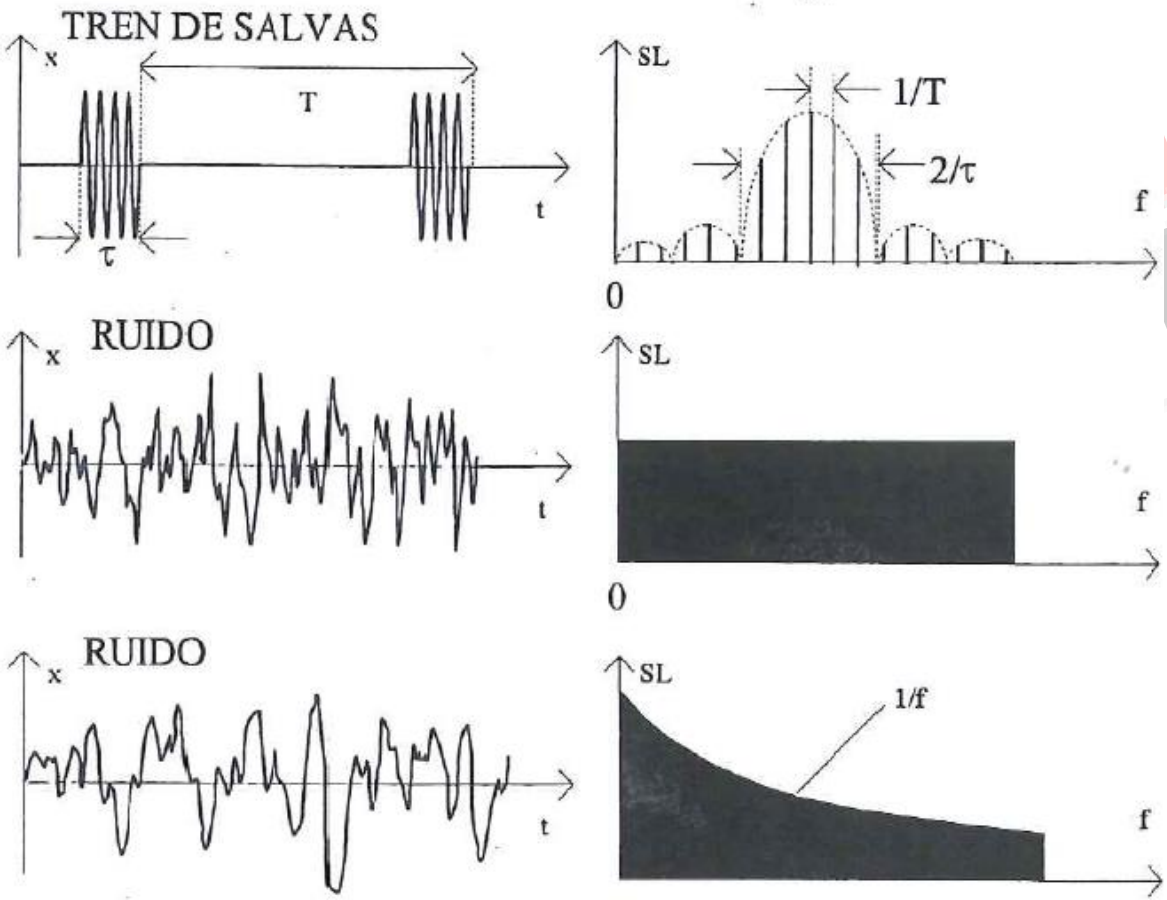


Fuente: "Fundamentos del Análisis de Fourier", Camilo José Carrillo

señales y sistemas acústicos

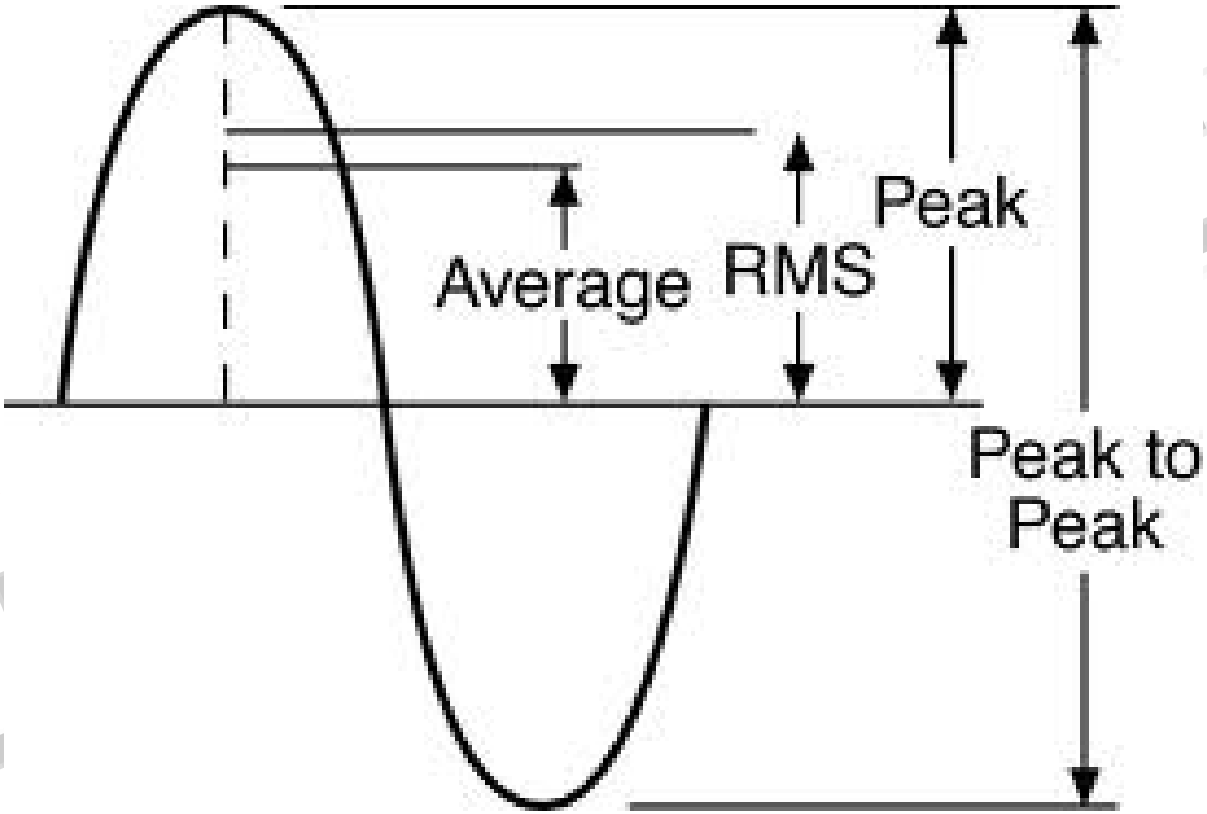


señales y sistemas acústicos



señales y sistemas acústicos

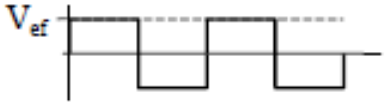
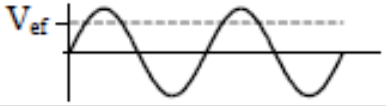
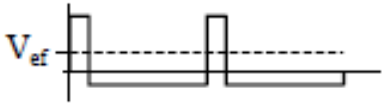
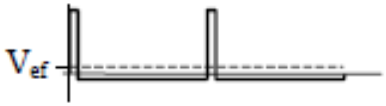
Niveles acústicos



señales y sistemas acústicos

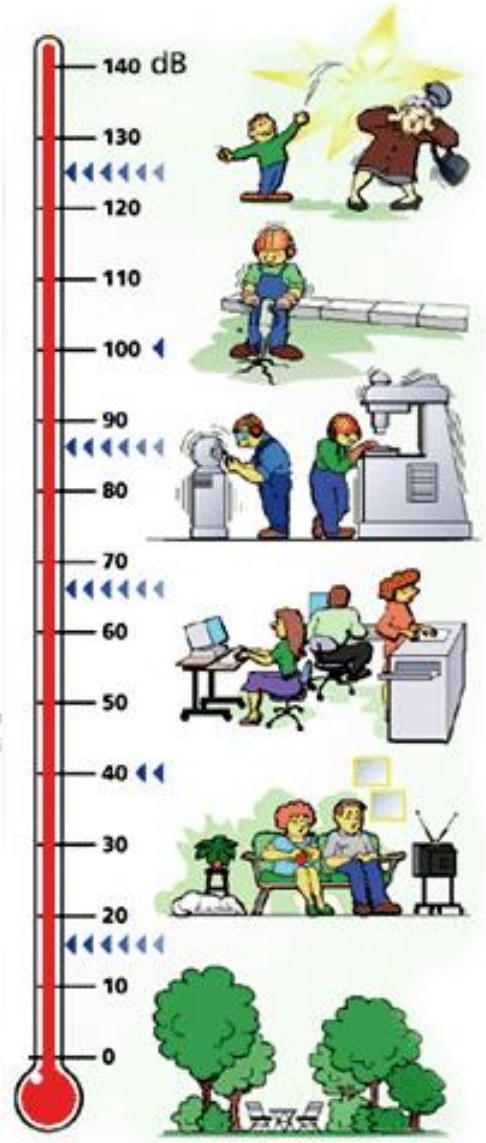
Niveles acústicos

Tabla 7.2. Relación entre el valor eficaz y el valor de pico de varias formas de onda.

Forma de onda	Valor eficaz	Forma de onda
Cuadrada	Valor de pico	
Senoidal	0,707 × Valor de pico	
Triangular	0,557 × Valor de pico	
Pulsos de 1 ms cada 10 ms	0,316 × Valor de pico	
Pulsos de 0,1 ms cada 10 ms	0,100 × Valor de pico	

señales y sistemas acústicos

- Niveles acústicos



señales y sistemas acústicos

Filtros

BAND	FREQUENCY					
	OCTAVE			ONE-THIRD OCTAVE		
	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT
21	88	125	177	112	125	141
22				141	160	178
23				178	200	224
24	177	250	355	224	250	282
25				282	315	355
26				355	400	447
27	355	500	710	447	500	562
28				562	630	708
29				708	800	891
30	710	1,000	1,420	891	1,000	1,122
31				1,122	1,250	1,413
32				1,413	1,600	1,778
33	1,420	2,000	2,840	1,778	2,000	2,239
34				2,239	2,500	2,818
35				2,818	3,150	3,548
36	2,840	4,000	5,680	3,548	4,000	4,467
37				4,467	5,000	5,623
38				5,623	6,300	7,079
39	5,680	8,000	11,360	7,079	8,000	8,913
40				8,913	10,000	11,220
41				11,220	12,500	14,130
42	11,360	16,000	22,720	14,130	16,000	17,780
43				17,780	20,000	22,390

señales y sistemas acústicos

Filtros

	FREQUENCY					
	OCTAVE			ONE-THIRD OCTAVE		
BAND	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT
12	11		22		16	
13					20	
14					25	
15	22		44		31.5	
16					40	
17					50	
18	44		88		63	
19					80	
20					100	

señales y sistemas acústicos

Filtros

BAND	FREQUENCY					
	OCTAVE			ONE-THIRD OCTAVE		
	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT	LOWER BAND LIMIT	CENTER	UPPER BAND LIMIT
12	11	16	22	14.1	16	17.8
13				17.8	20	22.4
14				22.4	25	28.2
15	22	31.5	44	28.2	31.5	35.5
16				35.5	40	44.7
17				44.7	50	56.2
18	44	63	88	56.2	63	70.8
19				70.8	80	89.1
20				89.1	100	112

señales y sistemas acústicos

RESUMEN:

- Sonido = onda mecánica generada por perturbación de **presión**.
- Descripción del sonido: **c**, **f**, y **λ**
- **Análisis en frecuencia,** FUNDAMENTAL => Transformada de Fourier.
- Descriptor Global: **Nivel de presión sonora (dB)**

Universidad Rey Juan Carlos

señales y sistemas acústicos

RESUMEN:

- dB ➔ Trabajamos en escala LOGARÍTMICA.
- Filtros en Acústica: Bandas porcentuales:
  - **1/1 octava.**
  - **1/3 octava.**
- Sistema Acústico = Sistema LTI (Generalización)
- Descriptor Global: **Nivel de presión sonora (dB)**
- **Ruidos Blanco** y **Rosa,** además de **señal impulsiva**, como referencias en análisis de sistemas.

señales y sistemas acústicos

- Referencias presentación:
  - "Ingeniería Acústica", Recuero, M.
  - "Control de Ruido", Federico Miyara.
  - "Acústica y Sistemas de sonido", Federico Miyara.
  - "Apuntes Acústica Ambiental y Control de Ruido", Doctorado I. Acústica, UPM.
  - Animation courtesy of Dr. Dan Russell, Grad. Prog. Acoustics, Penn State
  - B&K website.
  - Varios Internet sin clasificar.

Universidad Rey Juan Carlos
TSC